

**Nuova S.S.195 "Sulcitana" Tratto Cagliari - Pula  
Collegamento con la S.S.130 e aeroporto di Cagliari Elmas  
Opera Connessa Nord**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**PROGETTAZIONE: RTI GPI-IRD-SAIM-HYPRO**

<p><b>IL GEOLOGO</b></p>  <p><i>Dott. Geol. Marco Leonardi</i> Ordine dei geologi P. n. 1541 della Regione Lazio n. 1541</p>	<p><b>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</b></p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111</p> <p><i>Ing. Paolo Orsini</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 13817</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p> <p><i>Ing. Vincenzo Secreti</i> Ordine Ingegneri Provincia di Crotone n. 412</p>	<p><b>GRUPPO DI PROGETTAZIONE (Mandatario)</b></p> <p><b>GPI INGEGNERIA</b> <i>GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</i></p> <p>(Mandante)</p> <p><b>IRD</b> IRD ENGINEERING</p> <p>(Mandante)</p> <p><b>SAIM</b> <i>Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</i></p> <p>(Mandante)</p> <p><b>HYpro</b> srl</p>
<p><b>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</b></p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111</p>	<p><b>VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</b></p> <p><i>Ing. Michele Coghe</i></p>	<p><b>IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE (DPR207/10 ART 15 COMMA 12):</b></p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035</p> 

**STUDI E INDAGINI  
Sismica  
RELAZIONE SISMICA**

CODICE PROGETTO	NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">D</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">P</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">C</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">A</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">5</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> LIV. <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">D</span> ANNO <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</span>	T00GE01GEORE01_A		
	CODICE ELAB. <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">T</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">G</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">E</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">G</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">E</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">O</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">R</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">E</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">A</span>	-
D			
C			
B			
A	Emissione	Giugno '23	Leonardi
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDDATTO
		VERIFICATO	APPROVATO

## INDICE

<b><u>1. PREMESSA.....</u></b>	<b><u>2</u></b>
<b><u>2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....</u></b>	<b><u>2</u></b>
<b><u>3. LINEAMENTI GEOLOGICI.....</u></b>	<b><u>4</u></b>
<b><u>4. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI.....</u></b>	<b><u>5</u></b>
<b><u>5. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI.....</u></b>	<b><u>5</u></b>
<b><u>6. INDAGINI ESEGUITE.....</u></b>	<b><u>7</u></b>
6.1. CAMPAGNE DI INDAGINI.....	7
6.1.1. Campagna di indagini 2018.....	7
6.1.1. Campagna di indagini 2020.....	10
<b><u>7. INQUADRAMENTO SISMICO.....</u></b>	<b><u>11</u></b>
7.1. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	11
7.2. SISMICITÀ STORICA.....	13
7.3. CARATTERIZZAZIONE SISMOGENETICA.....	16
<b><u>8. SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE LOCALE.....</u></b>	<b><u>18</u></b>
8.1. AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA.....	18
8.2. AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA.....	18
8.3. VITA NOMINALE.....	20
8.4. CLASSE D'USO.....	20
8.5. PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA.....	21
8.6. PARAMETRI SISMICI.....	21
8.7. VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	22

## 1. PREMESSA

La presente relazione ha come finalità la caratterizzazione sismica delle aree interessate dal Progetto Definitivo della SS 195 "Sulcitana", in particolare dell'Opera connessa Nord, costituita dal tronco "Nuovo svincolo Casic – Dorsale Consortile" (km 10+200) – punto intermedio del tronco 106-107 (km 5+216) località Santu Inesu.

Il lavoro è stato svolto in ottemperanza al D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni", ed è stata eseguita una ricerca bibliografica di eventuali studi specialistici riguardanti la zona in esame presso gli Enti, i Comuni e le Regioni interessati al territorio dell'intervento

## 2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

La redazione della seguente relazione è stata eseguita nel rispetto delle normative vigenti in materia di progettazione antisismica e di diverse raccomandazioni tecniche, tra cui:

- Circolare Ministero Lavori Pubblici 24 settembre 1988 n.30483 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione". (Pres. Cons. Superiore - Servizio Tecnico Centrale).
- Decreto Ministero dei Lavori Pubblici n. 47 (11 marzo 1988) "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, Strutture di contenimento ed Aspetti geotecnici (1998).
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (ordinanza n. 3274 – Allegati 1, 2 e 3);
- OPCM n.3316 del 02.10.2003 recante modifiche e integrazioni dell'OPCM n. 3274
- OPCM n.3431 del 03.05.2005, Norme Tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici.
- O.P.C.M. 3519 del 2006 Nuova Ordinanza (OPCM 3519/2006) ha adottato la mappa di pericolosità sismica MPS04 quale riferimento ufficiale, e ha definito i criteri che le Regioni devono seguire per aggiornare le afferenze dei Comuni alle 4 zone sismiche.
- O.P.C.M. 13/11/2010 n. 3907: "Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico";
- Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 17/01/2018 pubblicate sul Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale, n. 42 del 20 febbraio 2018;

- Gruppo di lavoro MS (2008). Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome, Dipartimento della protezione civile, Roma;
- NTC 2018 – DM 08/2018 Decreto del Ministero delle infrastrutture dei trasporti n. 8/2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni “entrato in vigore il 22 marzo 2018 che ha leggermente modificato le categorie di suolo e di cui in data 21 gennaio 2019 sono state pubblicate le istruzioni per l’applicazione.
- Foti, S., Comina, C., Boiero, D., Socco, L.V. 2009. Non-uniqueness in surface-wave inversion and consequences on seismic site response analyses. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29, pp. 982-993;
- Y. Hashash, 2014 - DEEPSOIL v. 6.1;
- Kottke, Albert R., and Ellen M. Rathje. (2008). "Technical manual for Strata." Report No.: 2008/10. Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- G. Modoni, A. Gazzellone (2010). Simplified theoretical analysis of the seismic response of artificially compacted gravels. Proc. V Int. Conf. on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, San Diego, USA, Paper No. 1.28a;
- G. Peruzzi, D. Albarello (2016). Stimatori approssimati della componente verticale del moto nelle valutazioni di risposta sismica locale;
- Studio di microzonazione sismica per i comuni del centro Italia colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016 così come previsto con l’ordinanza n° 24 del 12 maggio 2017 del Commissario Straordinario;
- Zaho B., Horike M.; 2003: Simulation of High-Frequency Strong Vertical Motions using Microtremor Horizontal-to-Vertical Ratios. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 93, No. 6, pp. 2546–2553;

### 3. LINEAMENTI GEOLOGICI

Il settore in cui si sviluppa il tracciato in oggetto si sviluppa in un contesto prevalentemente pianeggiante, ed è costituita totalmente da depositi quaternari di origine alluvionale, e in minor misura, di natura fluvio-lacustre e marino – lagunare.

Il Quaternario in Sardegna è rappresentato in gran parte da depositi continentali, in particolare, il Pleistocene è caratterizzato dalle cosiddette "Alluvioni Antiche", diffuse in tutta l'Isola, ma in particolare nella piana del Campidano, nel cui margine meridionale ricade l'area di progetto. Si tratta di sedimenti fluviali di conoide e di piana alluvionale, depositi durante le fasi climatiche freddo-aride e reinciati in condizioni caldo-umide. Nell'area in questione l'Olocene è rappresentato da depositi ghiaioso-sabbiosi di fondovalle e delle piane alluvionali e da depositi limoso-argillosi della laguna.

Le coperture alluvionali sono state deposte in seguito agli apporti detritici dei principali corsi d'acqua, rappresentati, procedendo da ovest verso est, dal Rio Santa Lucia, nella porzione occidentale dell'area di progetto, al Rio Flumini Mannu e Rio Cixerri a nord est.

Tali coperture possono essere distinte in tre ordini di terrazzi, corrispondenti a differenti episodi di deposizione in un periodo compreso tra il Pleistocene Inf. e l'Olocene. L'individuazione dei limiti tra i terrazzi appare di difficile determinazione a causa sia della morfologia (forme piatte con profilo pressoché uniforme), sia del diffuso degrado dato dalla concomitante azione erosiva naturale e dall'intensa attività antropica.

Le alluvioni più antiche (Pvm2) appartenenti al subsistema di Portoscuso mostrano una maggiore estensione nell'area occidentale, e sono caratterizzati da un'alterazione molto spinta dei ciottoli e della matrice e si mostrano ben costipate e cementate. Queste rappresentano il piano superiore del cono alluvionale su cui si sono impostati i processi di incisione del Rio Santa Lucia al variare delle condizioni climatiche succedutesi nel corso del Quaternario. La disposizione caotica del deposito mostra elementi di pochi centimetri accanto a blocchi di notevoli dimensioni e i ciottoli risultano talora fortemente costipati in una matrice sabbioso-limosa molto arrossata a causa dei processi di ferrettizzazione cui sono stati sottoposti, costituiti prevalentemente da ghiaie grossolane, sino alla taglia dei blocchi, a spigoli subangolosi e subarrotondati. Essi presentano strutture incrociate concave in genere di limitata ampiezza e profondità. Sono inoltre frequenti lenti e livelli piano paralleli o massivi. I sedimenti più fini, rappresentati da sabbie grossolane sono sempre molto subordinati e si presentano in lenti e livelli intercalati ai livelli ghiaiosi. Lo spessore in superficie può superare i 30 m, ma è possibile che questo fosse maggiore al momento della deposizione, prima che i processi erosivi asportassero parte della copertura alluvionale. Questi depositi tendono a diminuire di spessore avvicinandosi alla laguna.

I depositi olocenici sono rappresentati sia da quelli attuali che da quelli derivati dalle modificazioni dell'ambiente fisico oloceniche e dunque sono caratterizzati da gradi variabili di inattività e seppellimento, tra questi sono compresi anche i depositi alluvionali terrazzati (Aa) posti a quote inferiori rispetto ai terrazzi pleistocenici. Nella parte occidentale dell'area di interesse affiorano i depositi di pianura alluvionale attuali (a), che mostrano passaggi progressivi a quelli di conoide alluvionale. La natura di questi sedimenti e la relazione laterale tra le varie facies è alquanto complessa.

I depositi alluvionali terrazzati (Aa), ricoprono i sedimenti del sistema di Portovesme e sono ricoperti dai depositi alluvionali attuali. Si tratta di ghiaie a stratificazione incrociata concava deposte all'interno di canali bassi e poco continui, alternate a ghiaie a stratificazione piano parallela. Sono depositi posti ai lati dei letti attuali o dei tratti di alveo regimati ed in genere non interessati dalle dinamiche in atto. Nell'area di progetto, tali depositi affiorano al margine occidentale della laguna, e sono separati, localmente, dove l'attività antropica l'ha preservata, da una scarpata, dai depositi di conoide ad ovest. In occasione di eventi idrometeorici estremi questi depositi potrebbero essere interessati da dinamiche alluvionali. La mancanza di differenze planoaltimetriche marcate ha

impedito di stabilire quali fossero i tratti interessati da dinamiche precedenti alla situazione idrografica attuale.

Al margine occidentale dell'area di progetto affiorano i sedimenti alluvionali attuali (a) depositi dal Rio Santa Lucia, sono rappresentati da depositi grossolani e solo localmente sono presenti intercalazioni di lenti e sottili livelli sabbia. Le strutture sedimentarie non si differenziano da quelle già descritte per i depositi alluvionali terrazzati olocenici, a testimoniare la presenza di un passato più o meno prossimo di corsi a canali intrecciati. I depositi in questione, essendo molto vicini al tratto montano del Rio Santa Lucia, possono essere anche molto grossolani con ciottoli e blocchi. Allo sbocco della valle il Rio Santa Lucia incide i depositi di conoide pleistocenici, dando luogo ad una scarpata di diversi metri di altezza. I depositi alluvionali recenti difficilmente superano i 5 metri di potenza

Al margine orientale dell'area progettuale affiorano depositi palustri (e) legati all'evoluzione attuale dell'adiacente Stagno di S. Gilla. Sono sedimenti fini, argilloso-limosi, con rari livelli di sabbie fini, ricchi in sostanza organica. L'esiguo areale di affioramento, nonché, la spinta antropizzazione di quest'area, non permettono osservazioni dettagliate, né di definirle lo spessore. Sono comunque riferibili all'Olocene. Considerata la posizione marginale rispetto al progetto non richiedono approfondimenti specifici.

#### **4. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI**

L'area in studio è situata all'interno della porzione sud-occidentale della pianura del Campidano meridionale compresa tra gli abitati di Assemini, Uta e Capoterra. Tale settore di pianura è delimitato dal margine dei rilievi del massiccio del Sulcis (Monti di Capoterra) a sud-ovest, il Golfo di Cagliari a sud e il bacino dello stagno di Santa Gilla ad est. L'andamento morfologico del settore di pianura del Campidano meridionale in esame è subpianeggiante o moderatamente ondulato e degrada verso est con uno sviluppo altimetrico da circa 60 m s.l.m. verso il livello del mare, con una pendenza media dell'1-2%. Il settore in esame è solcato, a nord, dal Rio Cixerri e dal Flumini Mannu e, a sud, dal Rio Santa Lucia.

La piana, di formazione alluvionale-deltizia, è il risultato del colmamento della porzione meridionale del Graben del Campidano, ampia fossa tettonica formatasi nel Pliocene medio-superiore (Cherchi et al., 1978), delimitata a ovest dalla faglia di importanza regionale del Graben, con direzione NWSE; a causa di tale faglia, la transizione morfologica tra i rilievi e le facies alluvionali che colmano il Graben campidanese è evidenziata da una brusca rottura di pendio dalle pendici dei massicci cristallini alla pianura, con conseguente passaggio da una morfologia aspra ed accidentata ad una morfologia di tipo pianeggiante.

Nell'area in studio, la valle tettonica è limitata ad est dallo Stagno di Santa Gilla, ad ovest e sudovest dal massiccio del Sulcis (monti di Capoterra).

Le aree dello Stagno di Santa Gilla sono soggette a continue variazioni delle linee di costa. La genesi dello stagno è legata da una parte all'apporto detritico fluviale che ha progressivamente colmato il bacino marino in regressione, dall'altra dalla formazione di un cordone litoraneo al margine del bacino che costituisce una barriera fisica tra le acque interne e quelle del mare.

Inoltre, dalla seconda metà del secolo scorso sono stati compiuti diversi e importanti interventi atti ad assicurare una maggiore disponibilità di superfici, in modo tale da poter ospitare gli insediamenti industriali, che hanno modificato i limiti delle aree emerse e delle aree umide. Tra gli interventi più significativi: opere di colmata per ampliare le aree emerse, confinamento di bacini per produzione di sale (saline), dragaggio dei canali, apertura di bocche di comunicazione tra il bacino lagunare ed il mare.

#### **5. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI**

Le differenti fasi di sedimentazione della Piana di Capoterra hanno fatto sì che i depositi interessanti l'area di progetto, costituiti principalmente da materiali alluvionali, siano altamente eterogenei. All'interno di tali depositi, caratterizzati da un'alternanza caotica di livelli di varia natura,

PROGETTAZIONE ATI:



da ghiaiosi ad argillosi, di età plio-pleistocenica, risiede un unico acquifero caratterizzato da permeabilità variabile in funzione delle differenti caratteristiche idrogeologiche dei depositi. L'asse viario di progetto attraversa i depositi appartenenti al complesso limoso-sabbioso-ghiaioso, costituito dai depositi fluviali pleistocenici e fluvio-lascustri pleistocenici-olocenici e subordinatamente entro i depositi litorali. È caratterizzato da permeabilità media e medio bassa, in funzione della presenza di livelli a maggiore contenuto limoso, questi livelli possono determinare variazioni verticali e locali della permeabilità. Questo complesso idrogeologico a sua volta può essere suddiviso in due sub-complessi (Ciabatti & Pilia, 2004; Casula et al., 2001):

1. Sub-complesso idrogeologico alluvionale superiore;
2. Sub-complesso idrogeologico alluvionale inferiore

Il sub-complesso alluvionale superiore, di maggiore interesse dell'area progettuale, è costituito da depositi di tipo ghiaioso sabbiosi. Esso è caratterizzato da permeabilità da medio bassa a medio alta a seconda delle presenze di livelli limoso-argillosi. Il sub-complesso alluvionale superiore è sede di un acquifero multistrato, al cui interno sono ospitate la falda superficiale di tipo libero e una falda profonda (localmente articolata in un sistema multifalda) confinata. Il grado di separazione tra la falda superficiale e la falda profonda è molto variabile ed è funzione della presenza e della continuità degli orizzonti argilloso-limosi. Il sub-complesso alluvionale superiore può essere schematizzato come un acquifero multifalda, caratterizzato da un'ampia variabilità degli orizzonti che lo costituiscono, in cui si possono distinguere una falda superficiale freatica e una falda confinata multistrato. Il grado di confinamento di questa seconda falda è molto variabile, in funzione della continuità locale degli orizzonti argilloso-limosi e delle modalità costruttive dei pozzi presenti nell'area, spesso realizzati con filtri che non garantiscono l'isolamento tra i due corpi idrici. Di conseguenza, a scala regionale, spesso i carichi idraulici associati alle due falde sopra descritte tendono a coincidere.

Studi pregressi (Cas. \Mez, 1986) hanno individuato lo spessore e l'andamento del complesso alluvionale superiore, attraverso prospezione geoelettriche appoggiate a misure di taratura in corrispondenza di perforazioni. In particolare, lo studio mette in evidenza una vasta zona di conoidi che si estende al piede degli affioramenti paleozoici lungo il margine Orientale Campidano. Al di sotto di tali depositi il complesso diventa progressivamente più argilloso, e il più delle volte, sterile. Nel dettaglio, dalle indagini dirette eseguite, risulta che le formazioni prevalentemente sabbiose-ghiaiose, presenti per almeno 15-25 metri di profondità dal piano campagna, anche se localmente vi si intercalano strati limosi argillosi di ridotta estensione laterale, costituiscono un acquifero freatico poggiante su uno strato argilloso limoso (aquiclude o aquitard).

L'area delle saline, che si sovrappone parzialmente al complesso sabbioso-ghiaioso e quello dei depositi palustri, potrebbe generare anche se posta a livello del mare, delle anomalie nella circolazione idrica sotterranea, per l'ampia superficie coinvolta dalle vasche.

Il flusso dell'acqua sotterranea naturale è diretto da NO verso SE, in direzione dello Stagno di Cagliari.

## 6. INDAGINI ESEGUITE

Per la redazione del presente progetto definitivo sono stati utilizzati i risultati di diverse campagne geognostiche svoltesi negli anni. Di seguito si riportano i risultati delle prove geofisiche mediante indagini sismiche in foro utilizzate per definire le caratteristiche dinamiche dei terreni in sito e per la determinazione dei parametri sismici.

### 6.1. CAMPAGNE DI INDAGINI

#### 6.1.1. CAMPAGNA DI INDAGINI 2018

Una campagna di indagini è stata condotta nel 2018 dall'impresa specializzata *Dr. Antonello Angius* per conto di ANAS S.p.A.

A seguito delle indagini geotecniche, sono state eseguite 3 indagini sismiche con metodo Down-hole (S2-DH, S3-DH, S6-DH).

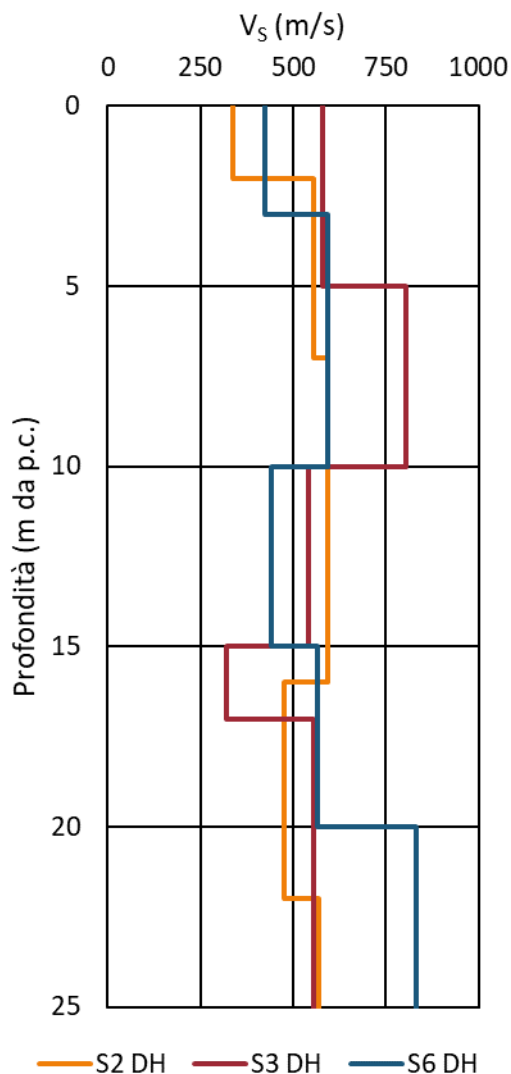


Figura 6.1 Profilo  $V_s$ , prova S2 DH, S3 DH e S6 DH (2018)

PROGETTAZIONE ATI:



I risultati della prova in foro S3 DH sono stati reinterpretati tenendo conto della stratigrafia e dei risultati delle prove in sito (SPT).

Di seguito si riportano i risultati della prova S3 DH in termini di profondità di misura  $z$  e tempo di tragitto corretto  $T_{S,corr}$ .

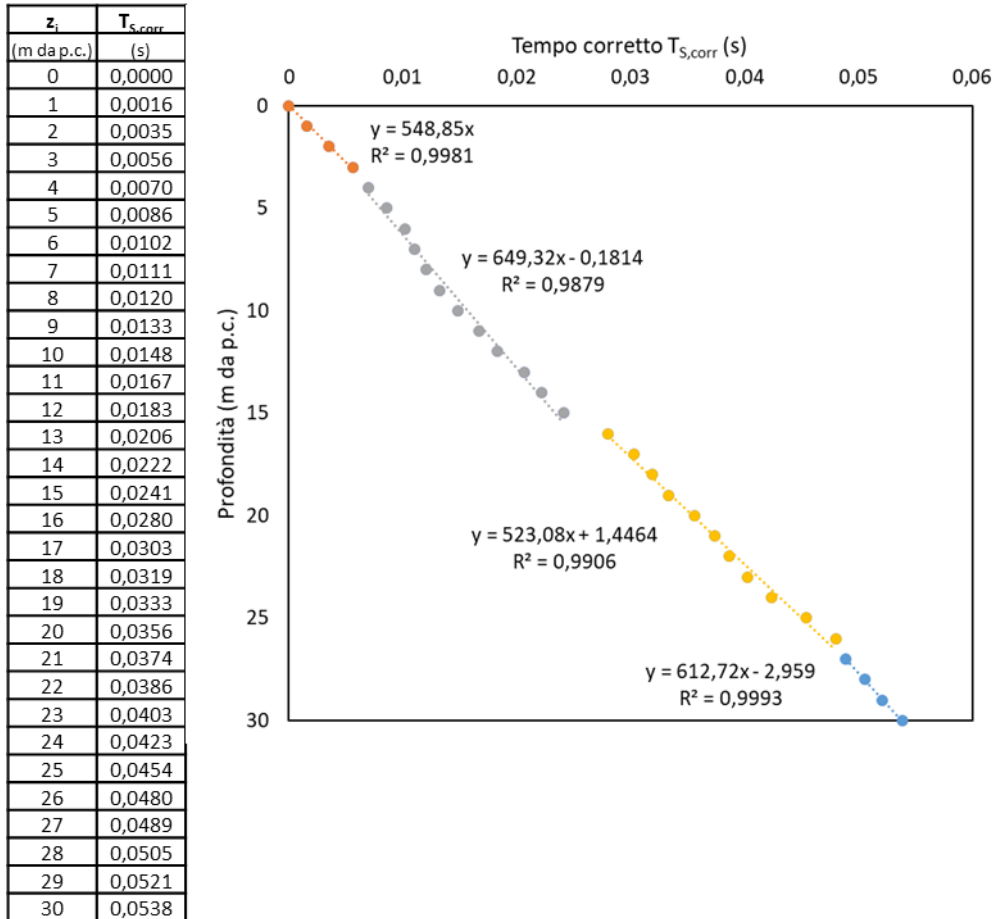


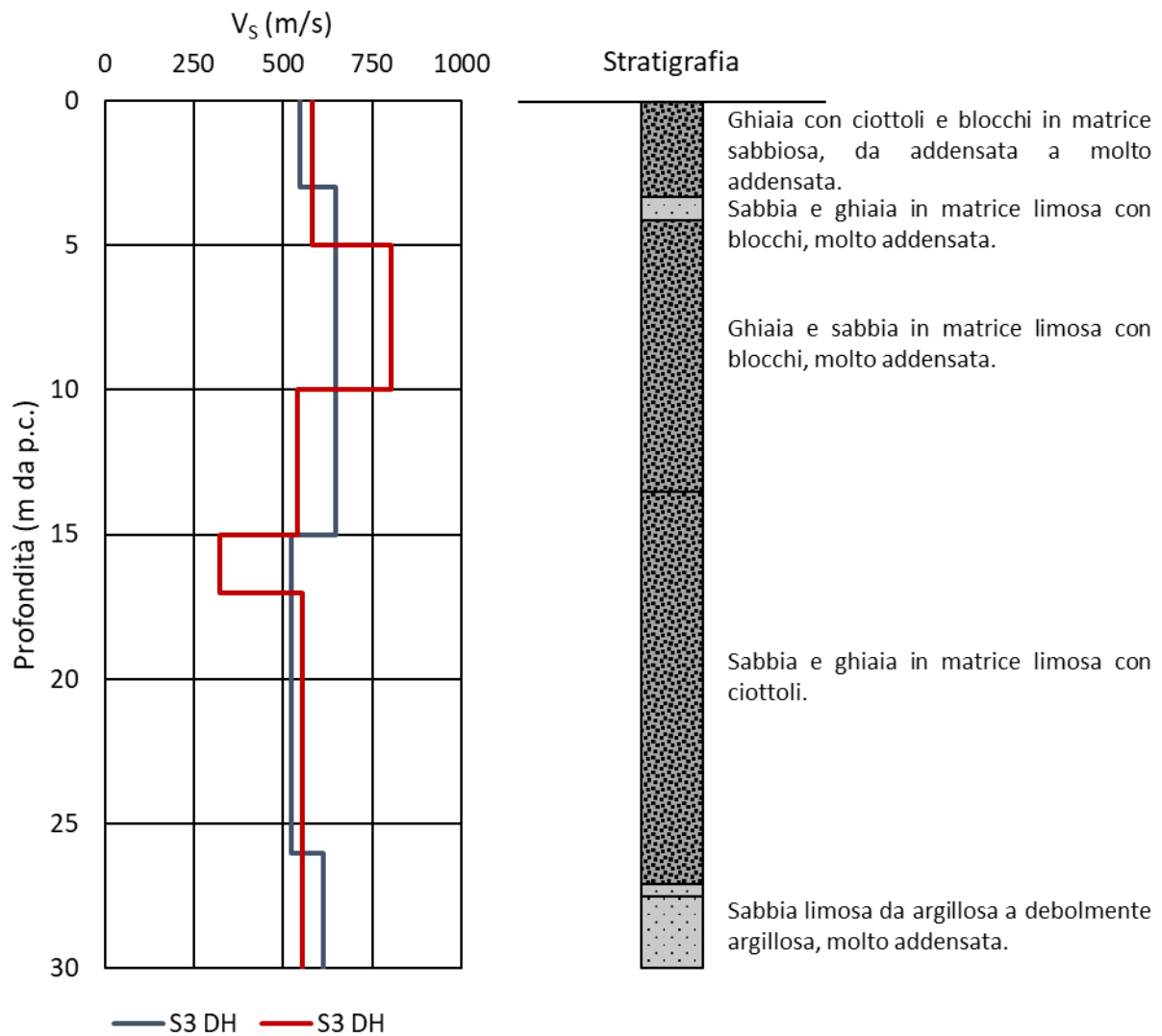
Figura 6.2 Prova S3 DH, tempi di tragitto corretti  $T_{S,corr}$  in funzione della profondità di misura  $z$

Dall'interpretazione mediante il metodo diretto della prova S3 DH risulta il seguente profilo della velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ , pari alla pendenza delle rette interpolanti i punti ( $z_i$ ,  $T_{S,corr}$ ).

$z_i$ (m da p.c.)	$V_{s,i}$ (m/s)
0,00	549
3,00	549
3,00	649
15,00	649
15,00	523
26,00	523

PROGETTAZIONE ATI:

$z_i$ (m da p.c.)	$V_{s,i}$ (m/s)
26,00	613
30,00	613



Confrontando il profilo delle  $V_s$  ottenuto dalla *EXPERIMENTATIONS s.r.l.* (tracciato in rosso nel grafico) e il profilo delle  $V_s$  stimato dal progettista, quest'ultimo appare più aderente alle reali condizioni in sito (natura del terreno, spessore dei singoli strati, numero di colpi  $N_{SPT}$  e grado di addensamento). In particolare, per l'intero strato compreso tra i 3 e i 15 m di profondità si riscontra un aumento della velocità delle onde di taglio  $V_s$  in accordo con un grado di addensamento maggiore e il raggiungimento del rifiuto strumentale per le maggior parte delle prove SPT, a differenza dello strato sottostante compreso tra i 15 e i 26 m, per il quale si ottiene una velocità di propagazione minore.

PROGETTAZIONE ATI:

Per la definizione dei parametri di deformabilità descritti nella relazione geotecnica (*codice elaborato T00GE00GETRE01*) e solo per il sondaggio S3 DH è stata utilizzata la nuova interpretazione del profilo delle  $V_s$ .

### 6.1.1. CAMPAGNA DI INDAGINI 2020

Una campagna di indagini è stata condotta nel 2020 dall'impresa specializzata Dr. Antonello Angius per conto di ANAS S.p.A.

A seguito delle indagini geotecniche, sono state eseguite 2 indagini sismiche con metodo Down-hole (S8-DH, S10-DH).

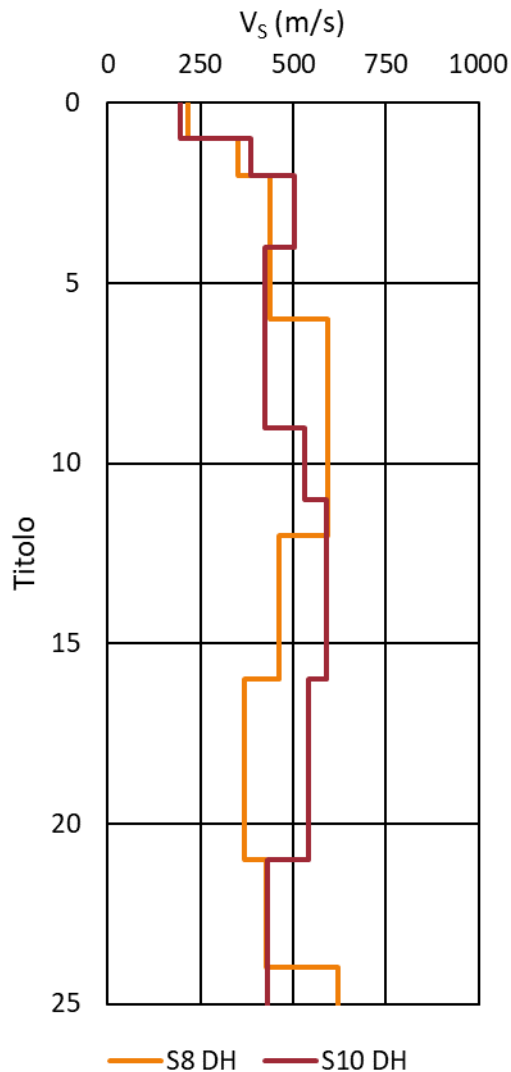


Figura 6.3 Profilo  $V_s$ , prova S8 DH e S10 DH (2020)

## 7. INQUADRAMENTO SISMICO

### 7.1. PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Il territorio italiano, in base all'intensità e alla frequenza dei terremoti del passato, è classificato in quattro zone sismiche. Sino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diversa severità, nel 2003 sono stati emanati i criteri della nuova classificazione sismica, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia un'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una certa intensità o magnitudo. A tal fine è stata pubblicata l'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003.

Tale provvedimento detta i principi generali sulla base dei quali le regioni, a cui lo stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio, hanno compilato l'elenco dei comuni con relativa attribuzione ad una delle quattro zone (e relative sottozone), a pericolosità decrescente, nelle quali è stato classificato l'intero territorio nazionale.

<b>Zona 1</b>	È la zona più pericolosa. La probabilità che capiti un forte terremoto è alta
<b>Zona 2</b>	In questa zona forti terremoti sono possibili
<b>Zona 3</b>	In questa zona i forti terremoti sono meno probabili rispetto alla zona 1 e 2
<b>Zona 4</b>	È la zona meno pericolosa: la probabilità che capiti un terremoto è molto bassa

Table 7-1 Descrizione zone sismiche, fonte Protezione Civile

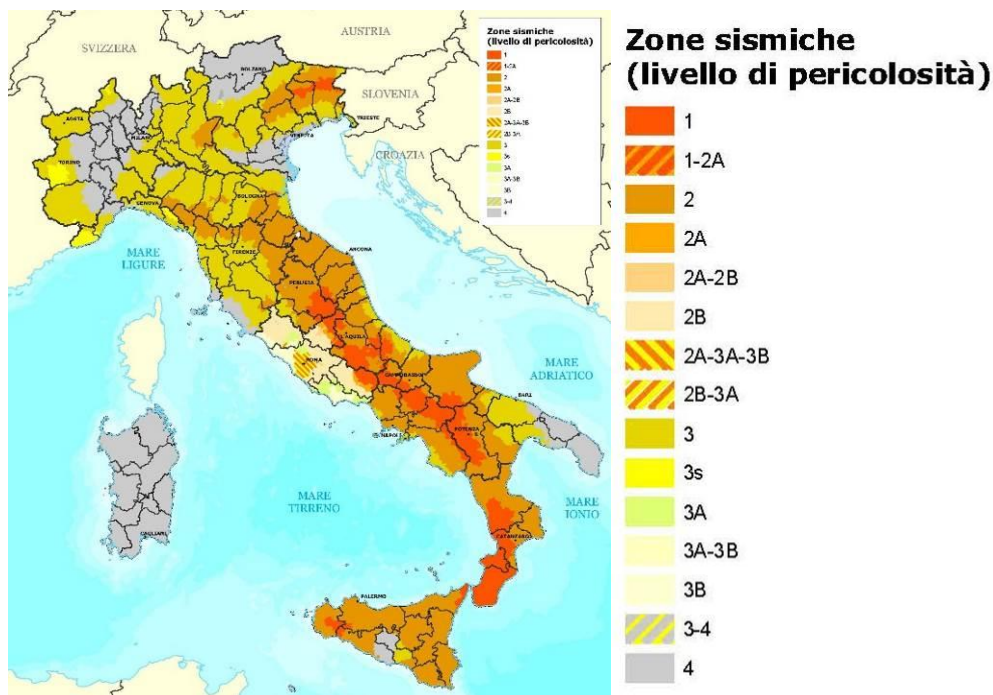


Figure 7-1 Stralcio classificazione sismica

L'attuazione dell'ordinanza n.3274 del 2003 ha permesso di ridurre notevolmente la distanza fra conoscenza scientifica consolidata e la sua traduzione in strumenti normativi e ha portato a progettare e realizzare costruzioni nuove, più sicure ed aperte all'uso di tecnologie innovative. Le novità introdotte con l'ordinanza sono state pienamente recepite e ulteriormente affinate grazie anche agli studi svolti dai centri di competenza (INGV, Reluis, Eucentre). Un aggiornamento dello studio di pericolosità di riferimento nazionale (Gruppo di Lavoro, 2004), previsto dall'OPCM3274/03,

PROGETTAZIONE ATI:

è stato adottato con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3519 del 28 aprile 2006. Il nuovo studio di pericolosità allegato all'ordinanza ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio introducendo intervalli di accelerazione ( $a_g$ ), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni da attribuire alle 4 zone sismiche.

Zona sismica	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g$ )
1	$a_g > 0.25$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$

Table 7-2 Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM3519/06)

Con la Delibera n. 15/31 del 30.03.2004 la Giunta Regionale ha recepito la riclassificazione sismica dei comuni della Regione Sardegna contenuta nell'Allegato 1 all'Ordinanza PCM 3274/03 assegnando a tutti i comuni della Sardegna la zona sismica 4 che, nella classificazione sismica dei territori, rappresenta quella a rischio sismico molto basso.

Nello specifico, tramite applicazione Webgis consultabile on line sul sito dell'I.N.G.V. all'indirizzo <http://esse1-gis.mi.ingv.it>, è possibile in maniera interattiva esaminare le mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale. In particolare, come specificato, per la zona interessata dall'intervento in progetto si hanno dei valori di accelerazione del suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) compresi tra 0.025-0.050  $a_g$  di accelerazione massima del suolo espressa come accelerazione di gravità.

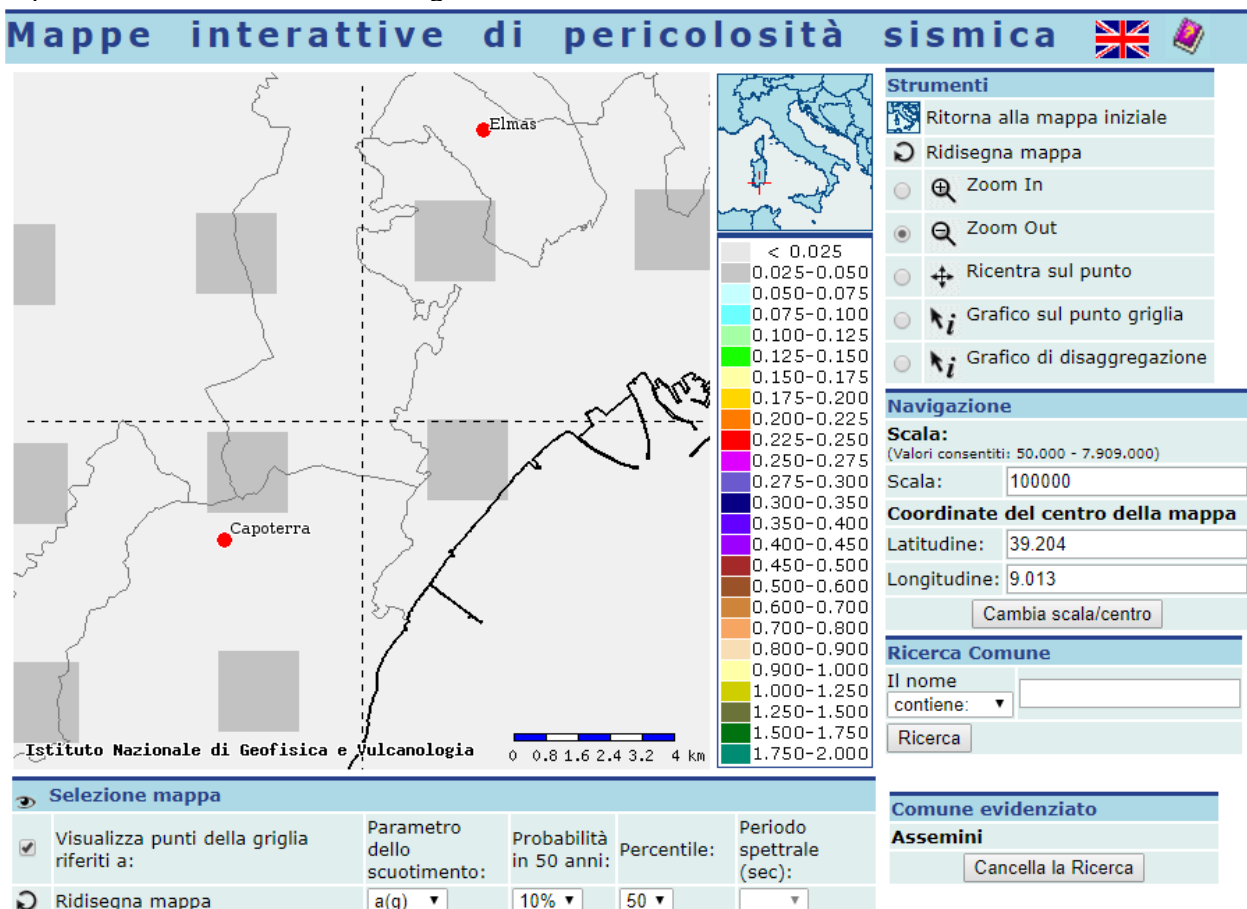


Figure 7-2 Mappa di pericolosità sismica

PROGETTAZIONE ATI:

Le NTC 2018, approvate con Decreto Ministeriale il 17 gennaio, definiscono le azioni sismiche di progetto in funzione della "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizione di campo libero sul sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita nelle categorie di sottosuolo), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$ , in alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Ai fini della normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento  $P_{VR}$ , nel periodo di riferimento  $V_R$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_o$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c$  valore di riferimento per la determinazione del periodo inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Come indicato nel paragrafo 3.2 del D.M. 17/01/2018, per tali parametri si fa riferimento agli allegati A e B del Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

Isole	$T_R=30$			$T_R=50$			$T_R=72$			$T_R=101$			$T_R=140$			$T_R=201$			$T_R=475$			$T_R=975$			$T_R=2475$		
	$a_g$	$F_o$	$T_c$	$a_g$	$F_o$	$T_c$	$a_g$	$F_o$	$T_c$	$a_g$	$F_o$	$T_c$	$a_g$	$F_o$	$T_c$	$a_g$	$F_o$	$T_c$	$a_g$	$F_o$	$T_c$	$a_g$	$F_o$	$T_c$	$a_g$	$F_o$	$T_c$
Arcipelago Toscano, Isole Egadi, Pantelleria, Sardegna, Lampedusa, Linosa, Ponza, Palmarola, Zannone	0,186	2,61	0,273	0,235	2,67	0,296	0,274	2,70	0,303	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313	0,393	2,82	0,322	0,500	2,88	0,340	0,603	2,98	0,372	0,747	3,09	0,401
Ventotene, Santo Stefano	0,239	2,61	0,245	0,303	2,61	0,272	0,347	2,61	0,298	0,389	2,66	0,326	0,430	2,69	0,366	0,481	2,71	0,401	0,600	2,92	0,476	0,707	3,07	0,517	0,852	3,27	0,564
Ustica, Tremiti	0,429	2,50	0,400	0,554	2,50	0,400	0,661	2,50	0,400	0,776	2,50	0,400	0,901	2,50	0,400	1,056	2,50	0,400	1,500	2,50	0,400	1,967	2,50	0,400	2,725	2,50	0,400
Alicudi, Filicudi,	0,350	2,70	0,400	0,558	2,70	0,400	0,807	2,70	0,400	1,020	2,70	0,400	1,214	2,70	0,400	1,460	2,70	0,400	2,471	2,70	0,400	3,212	2,70	0,400	4,077	2,70	0,400
Panarea, Stromboli, Lipari, Vulcano, Salina	0,618	2,45	0,287	0,817	2,48	0,290	0,983	2,51	0,294	1,166	2,52	0,290	1,354	2,56	0,290	1,580	2,56	0,292	2,200	2,58	0,306	2,823	2,65	0,316	3,746	2,76	0,324

Table 7-3 Valori  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c$  per le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri

## 7.2. SISMICITÀ STORICA

La sismicità storica dell'area interessata dall'opera in progetto è stata analizzata consultando i cataloghi più aggiornati, considerando un intervallo temporale che va dal mondo antico all'epoca attuale.

In particolare, sono stati consultati i seguenti database:

- Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15), redatto dal Gruppo di lavoro CPTI 2015 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  o magnitudo  $\geq 4.0$  d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014.
- DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15), realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014.

PROGETTAZIONE ATI:



La finestra cronologica coperta dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15 va dall'anno 1000 d.C. circa a tutto il 2014 d.C., ed offre per ogni terremoto una stima il più possibile omogenea della localizzazione epicentrale (Latitudine, Longitudine), dei valori di Intensità massima ed epicentrale, della magnitudo momento e della magnitudo calcolata dalle onde superficiali.

Per la compilazione del CPTI15 sono stati ritenuti di interesse solo i terremoti avvenuti in Italia e quelli che, pur essendo stati localizzati in aree limitrofe, potrebbero essere stati risentiti con intensità significativa all'interno dei confini dello stato.

La Figure 7-3 mostra una mappa delle localizzazioni dei terremoti storici presenti nel catalogo CPTI15 relativi alla regione Sardegna, mentre in Table 7-4 è riportata una lista di tutti gli eventi sismici catalogati.

In generale, dalla consultazione di questo catalogo si evidenzia come la Regione Sardegna e di conseguenza l'area interessata dal progetto, presenta una sismicità storica molto bassa.

I terremoti più recenti (avvenuti nel 2000, 2004 e 2006), tutti di  $M_w < 5$  e localizzati in mare, hanno prodotto in terraferma effetti di modesta intensità.

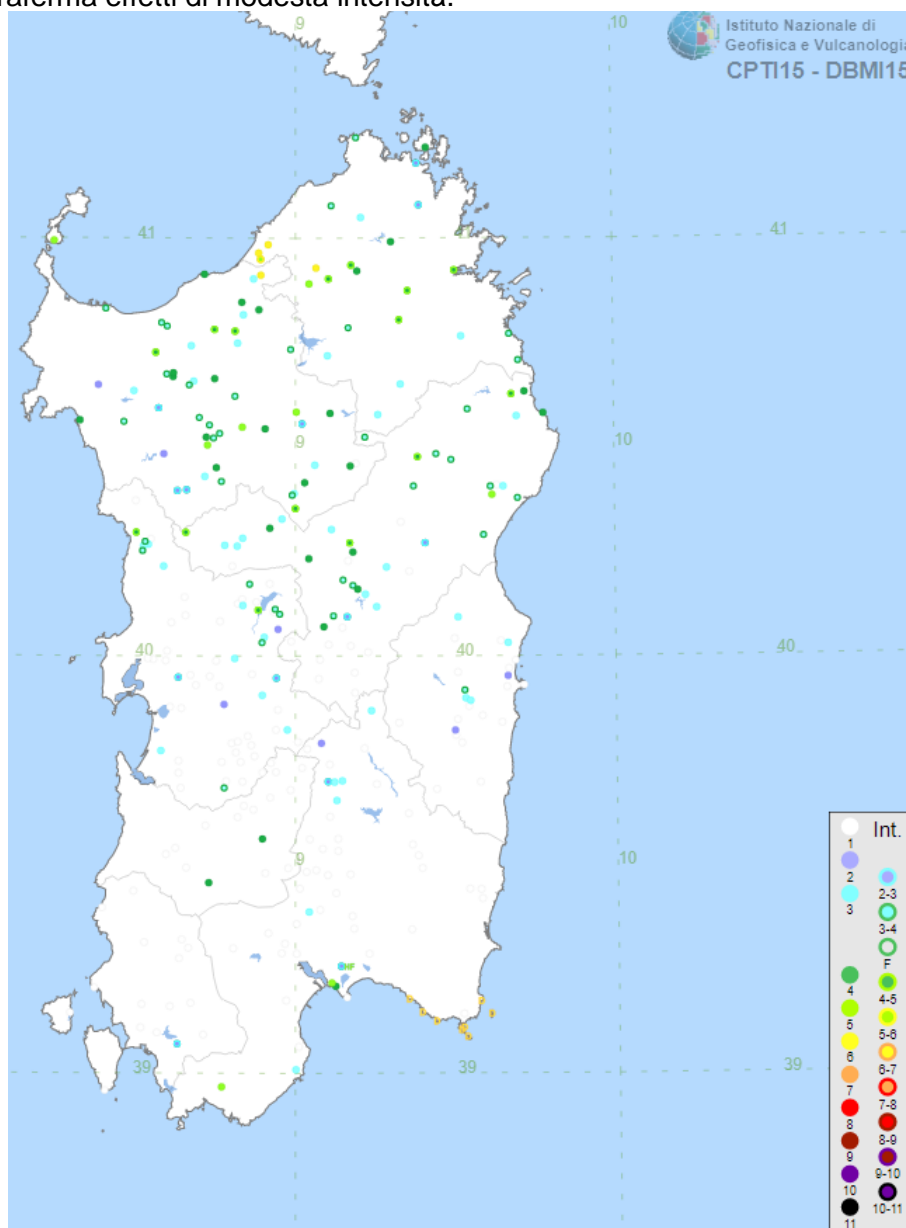


Figure 7-3 Mappa con la localizzazione degli epicentri dei terremoti storici in Sardegna - Fonte CPTI 2015

PROGETTAZIONE ATI:



STUDI ED INDAGINI – SISMICA – RELAZIONE SISMICA

Comune	Provincia	I <sub>max</sub>	Comune	Provincia	I <sub>max</sub>	Comune	Provincia	I <sub>max</sub>
Aggius	OT	6	Gavoi	NU	4	Osilo	SS	3
Aglientu	OT	3-4	Gergei	CA	2-3	Osini Nuova	OG	2
Aidomaggiore	OR	3-4	Ghilarza	OR	3	Ossi	SS	3-4
Alà dei Sardi	OT	3	Giave	SS	4	Ottana	NU	4
Alghero	SS	4	Giba	CI	2-3	Ovodda	NU	2-3
Arborea	OR	3	Girasole	OG	2	Ozieri	SS	5
Ardara	SS	3-4	Ilbono	OG	3	Padria	SS	2-3
Arzachena	OT	2-3	Illorai	SS	4-5	Padru	OT	3
Arzana	OG	3-4	Ittireddu	SS	4	Palau	OT	2-3
Asinara (Fornelli)	SS	5	Ittiri	SS	2-3	Pattada	SS	4
Austis	NU	4	La Maddalena	OT	4	Perfugas	SS	4
Badesi	OT	6	Laerru	SS	3	Ploaghe	SS	4
Banari	SS	3-4	Lei	NU	4	Porto Torres	SS	3-4
Baunei	OG	3	Loculi	NU	3-4	Posada	NU	4
Benetutti	SS	4	Lodè	NU	3-4	Pozzomaggiore	SS	2-3
Berchidda	OT	3-4	Lodine	NU	3	Pula	CA	3
Bessude	SS	3-4	Lula	NU	3-4	Putifigari	SS	3-4
Bidoni	OR	3-4	Luogosanto	OT	3	Romana	SS	2
Birori	NU	3	Luras	OT	4-5	Ruinias	OR	3
Bitti	NU	4-5	Macomer	NU	3	Samugheo	OR	2-3
Bolotana	NU	3	Magomadas	OR	3	San Teodoro	OT	3-4
Bonnanaro	SS	3-4	Mamoiada	NU	3	Sanluri	VS	4
Bono	SS	4	Mandas	CA	3	Santa Lucia	NU	4
Bonorva	SS	3-4	Martis	SS	4-5	Santa Maria Coghinas	SS	3
Bortigali	NU	3	Modolo	OR	3-4	Santa Teresa Gallura	OT	3-4
Bortigiadas	OT	5	Mogoro	OR	3-4	Sant'Antonio	OT	4
Borutta	SS	3-4	Monastir	CA	3	Sassari	SS	4-5
Bosa	OR	4-5	Monserato	CA	2-3	Scano di Montiferro	OR	3
Buddusò	OT	3	Monti	OT	4-5	Sennori	SS	3-4
Budoni	OT	3-4	Mores	SS	5	Serri	CA	3
Bultei	SS	3	Muntiggioni	OT	5-6	Seulo	CA	3
Bulzi	SS	4	Muros	SS	4	Siamaggiore	OR	2-3
Burgos	SS	3	Neoneli	OR	2	Sindia	NU	4-5
Busachi	OR	3-4	Nughedu di San Nicolò	SS	2-3	Siniscola	NU	3
Cagliari	CA	5	Nughedu Santa Vittoria	OR	3-4	Sorso	SS	3-4
Calangianus	OT	4	Nulvi	SS	4-5	Tadasuni	OR	4-5
Cargeghe	SS	4	Nurallao	CA	2	Telti	OT	4-5
Castelsardo	SS	4	Nureci	OR	3	Tempio Pausania	OT	4-5
Cheremule	SS	5	Olbia	OT	4-5	Teti	NU	3-4
Chiaramonti	SS	3	Oliena	NU	2-3	Teulada	CA	5
Codrongianos	SS	3	Ollolai	NU	3-4	Thiesi	SS	4
Convento di Bonaria	CA	4	Olmedo	SS	2	Torpè	NU	4-5
Cossoine	SS	3	Olzai	NU	3-4	Tresnuraghes	OR	3-4
Dorgali	NU	3-4	Onani	NU	3-4	Trinità d'Agultu e Vignola	OT	6
Elini	OG	3	Onifai	NU	3	Tula	SS	3-4
Escolca	CA	3	Oniferi	NU	4-5	Ulà Tirso	OR	3
Esporlatu	SS	3-4	Orani	NU	4	Uri	SS	3
Florinas	SS	3-4	Orosei	NU	3-4	Urzulei	OG	3
Flussio	OR	3	Orotelli	NU	3	Viddalba	SS	6
Fonni	NU	3	Orune	NU	3-4	Villacidro	VS	4
Fordongianus	OR	3	Oschiri	OT	3	Villaurbana	OR	2
Galtelli	NU	5	Osidda	NU	3-4			

Table 7-4 Elenco eventi sismici con epicentro in Sardegna – Fonte DBMI 2015

PROGETTAZIONE ATI:

### 7.3. CARATTERIZZAZIONE SISMOGENETICA

La caratterizzazione sismoγενetica dell'area in studio è stata valutata prendendo in considerazione la una nuova zonazione sismoγενetica del territorio italiano, denominata ZS9, che prevede una suddivisione in 36 zone i cui limiti sono stati tracciati sulla base di informazioni tettoniche o geologico-strutturali e di differenti caratteristiche della sismicità, quali distribuzione spaziale e frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, ecc.

Le zone sismoγενetiche sono porzioni della crosta o del mantello terrestre da cui possono originarsi i terremoti. Strutture s. sono le strutture geologiche attive a livello regionale da cui si originano i sismi più violenti.

Dall'analisi dei risultati riportati nella ZS9, Figure 7-4, si evidenzia che la regione Sardegna non è caratterizzata da nessuna area sorgente di particolare rilievo.

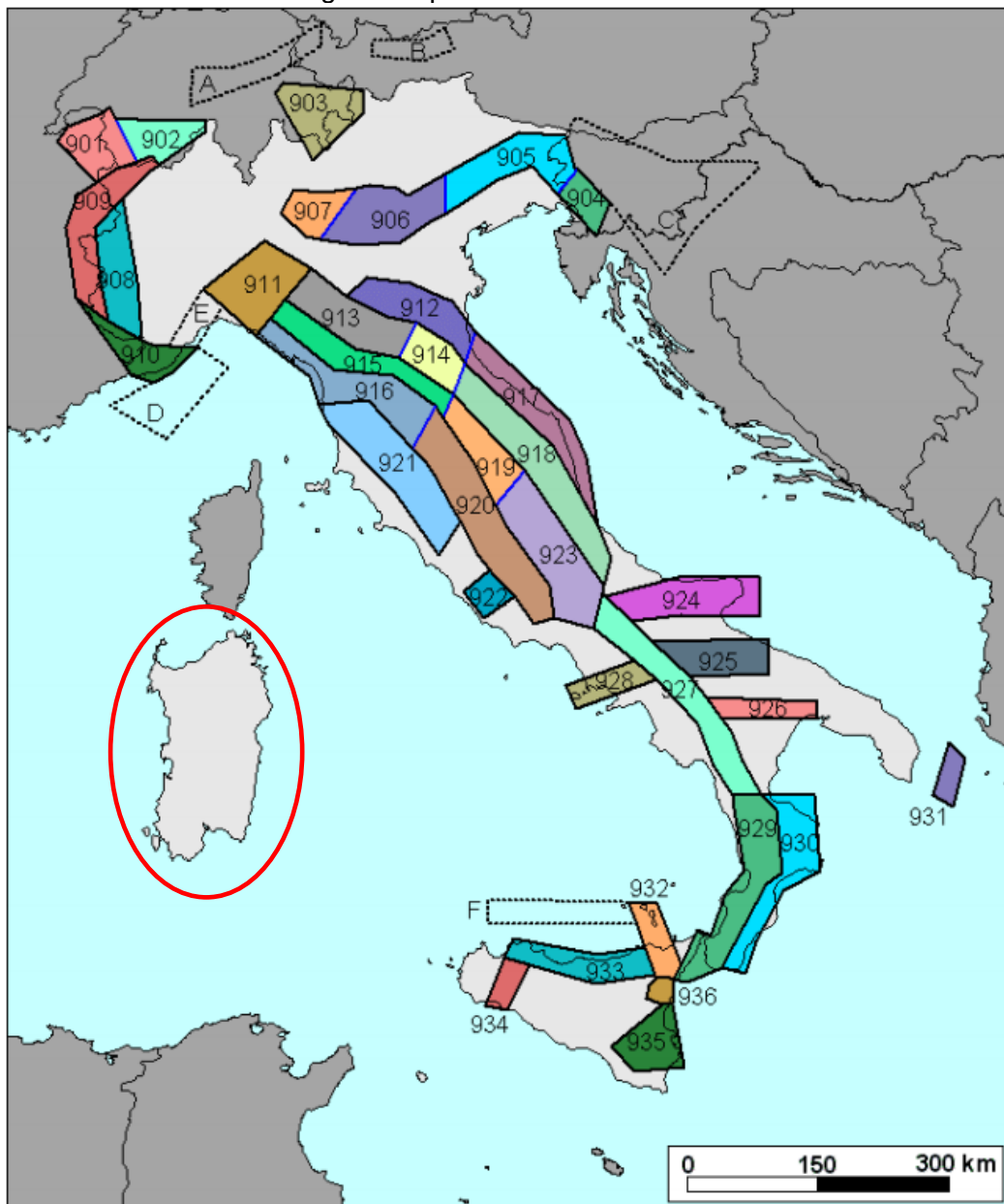


Figure 7-4 Zonazione sismoγενetica ZS9 – Fonte INGV 2004

PROGETTAZIONE ATI:

Le informazioni disponibili per i terremoti storici, quelle di tipo paleosismologico e quelle geologico-strutturali di un'area permettono di individuare le cosiddette "Faglie Capaci", definite come "faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie". L'elenco delle faglie attive e capaci del catalogo ITHACA (ITaly HAZard from CApable faults) evidenzia la presenza principalmente di due lineamenti di grandi dimensioni posti in prossimità del tracciato

Questi ultimi corrono circa parallelamente al tracciato a distanza di 3,6 e 3,9 km in direzione OSO da esso; si tratta rispettivamente delle faglie Sarroch 1 (id: 94189) e Sarroch 2 (id: 94198), entrambe a cinematica normale, direzione NNO-SSE e immersione ENE.

Le faglie costituiscono parte del margine sud-occidentale del Graben del Campidano, un bacino tettonico originatosi dallo sprofondamento della porzione meridionale della Fossa Sarda (Cherchi & Montadert, 1982; Assorgia et al., 1997; Funedda et al., 2000 ; Carmignani et al., 2001; Casula et al., 2001; Oggiano et al., 2009), conclusa nel Plio-Quaternario con una fase estensionale legata all'evoluzione del bacino tirrenico meridionale (Casula et al., 2001; Cocco, 2013).

Non sono disponibili dati relativi all'entità dei rigetti nel tempo.



Figure 7-5 Schermata dal portale *Webgis* dell'ISPRA (ITHACA – CATALOGO DELLE FAGLIE CAPACI - <http://sgj2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/index.html>), modificata con l'indicazione dei codici identificativi del catalogo e dell'area del progetto (evidenziata in giallo).

Altre informazioni relative alle faglie di interesse sono riportate nella tabella seguente.

Id. Faglia	distanza dal tracciato (m)	nome	sistema	Spostamento (mm/anno)	immersione	cinematismo
94189	3,6	Sarroch 1	Graben del Campidano	N.D.	ENE	normale
94198	3,9	Sarroch 2	Graben del Campidano	N.D.	ENE	normale

Table 7-5 Faglie Capaci prossime all'area di progetto, dal catalogo ITHACA.

## 8. SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE LOCALE

Per la valutazione dello spettro di risposta elastico (componente orizzontale e componente verticale) dell'area investigata si è fatto riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018).

### 8.1. AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico S riportati nella tabella seguente in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento. La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base, dove ST assume valore unitario.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 8.1 – Categorie topografiche

Categoria Topografica	Ubicazione dell'opera	ST
T1	-	1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

Tabella 8.2 - Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica ST (la variazione spaziale di ST è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo dalla sommità fino alla base dove ST=1,0).

Lungo il tracciato stradale in progetto è stata considerata la categoria topografica T1.

### 8.2. AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi da eseguire con le modalità descritte nel capitolo 7 delle NTC 2018. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie sotto specificate, si può far riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ . La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$ , definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = H / (\sum_{i=1}^N (h_i / V_{s,i}))$$

$h_i$  spessore dell'i-esimo strato

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato

$N$  numero di strati

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia e terreno con  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

La profondità  $H$  del substrato è calcolata a partire dal piano di imposta per le fondazioni superficiali, dalla testa dei pali per le fondazioni profonde e a partire dalla testa dell'opera per le opere di sostegno.



Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono riportate in tabella:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

**Table 8-1 Categorie di sottosuolo per approccio semplificato da NTC 2018**

Per qualunque condizione di sottosuolo, differente dalle cinque esposte in tabella, è necessario predisporre analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismica. Per le condizioni che ricadono nelle 5 categorie le azioni sismiche sono definite nel paragrafo 3.2.3 delle NTC 2018.

La classificazione sismica del sito e dei suoli delle aree interessate dal progetto è stata eseguita elaborando i risultati di alcune prospezioni Down Hole eseguite nell'ambito della campagna di indagini geognostiche, tre di questi eseguiti nella campagna del 2018 e altri due nella campagna integrativa del 2020, di seguito si riporta una tabella con le  $V_{Seq}$  e la categoria di sottosuolo risultante dell'analisi dei dati raccolti:

Sondaggio	Anno	Profondità (m)	Numero misure	Vseq (m/s)	Categoria di sottosuolo
S2	2018	25	26	521*	<b>B</b>
S3	2018	30	31	582	<b>B</b>
S6	2018	30	31	512	<b>B</b>
S8	2020	35	36	458	<b>B</b>
S10	2020	35	36	438	<b>B</b>

\*Nel Down Hole S2 del 2018 la  $V_{Seq}$  è stata definita per 25 m

**Table 8-2 Classificazione sismica dei suoli**

In particolare, dai risultati delle prove down-hole non si rinvenivano inversioni di velocità significative in quanto il rapporto tra la velocità di propagazione delle onde di taglio nello strato rigido  $V_{S,rig}$  (che sovrasta uno strato meno rigido) e la velocità di propagazione delle onde di taglio nello strato meno rigido (soffice)  $V_{S,sof}$  risulta sempre minore o al limite uguale a 1,50 ( $V_{S,rig} / V_{S,sof} \leq 1,50$ ).

Per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S$  riportati nella tabella seguente in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento. La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base, dove  $ST$  assume valore unitario.

PROGETTAZIONE ATI:

La categoria di sottosuolo dalle prove geofisiche eseguite è "B": "Rocce tenere e depositi di terreni a rana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s"

### 8.3. VITA NOMINALE

La vita nominale di progetto  $V_N$  di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. I valori minimi di  $V_N$  da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella tabella seguente; tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

TIPI DI COSTRUZIONI	Valori minimi di $V_N$ (anni)
Costruzioni temporanee e provvisorie	10
Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 8.3 - Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

Nel caso del presente intervento si considera "Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari";  
 **$V_N = 50$  anni (10 anni per le opere provvisionali).**

### 8.4. CLASSE D'USO

In presenza di azioni sismiche, con lo scopo di valutare le conseguenze di una interruzione di operatività assegnata o di un eventuale collasso della struttura, le costruzioni sono catalogate in 4 classi d'uso a cui corrisponde un valore del coefficiente d'uso  $C_u$  per la definizione dell'azione sismica; in particolare, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise nelle classi d'uso così definite:

- *Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.*
- *Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*
- *Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.*
- *Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.*

CLASSE D'USO				
Classe	I	II	III	IV
Coefficiente Cu	0.7	1	1.5	2

Tabella 8.4 - Parametri per il calcolo del coefficiente d'uso (Cu).

All'opera in oggetto viene assegnato una Classe d'uso IV "Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica", a cui corrisponde un coefficiente d'uso:

$$C_u = 2.0$$

### 8.5. PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto VN per il coefficiente d'uso CU; pertanto, con riferimento a quanto esposto ai paragrafi precedenti risulta che:

$$V_R = V_n \text{ (Vita nominale)} \times C_u \text{ (Classe d'uso)} = 50 \times 2.0 = 100 \text{ anni}$$

In riferimento allo stato limite di salvaguardia della vita SLV, pertanto, il valore convenzionale dell'accelerazione orizzontale massima del terreno di calcolo  $a_g$  è pari a 0,060g.

- $P_{VR} = 10 \%$  (SLV)
- $V_R = V_N \times C_u = 100$  anni
- $T_R = 949$  anni

### 8.6. PARAMETRI SISMICI

Le opere in esame sono inquadrare, ai sensi della normativa italiana vigente (DM 17/01/2018), nel reticolo di coordinate geografiche di riferimento per il calcolo della pericolosità sismica.

I parametri sismici di riferimento per il calcolo delle azioni sismiche sono indicati nella tab. 2 dell'Allegato B del DM 14/01/2008 e sono riportati di seguito:

Tabella 8-5 DM 14/01/2008 All. B, Tab. 2 Valori di  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  per le isole, con l'esclusione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri.

Isole	T <sub>R</sub> =30			T <sub>R</sub> =50			T <sub>R</sub> =72			T <sub>R</sub> =101			T <sub>R</sub> =140			T <sub>R</sub> =201			T <sub>R</sub> =475			T <sub>R</sub> =975			T <sub>R</sub> =2475		
	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> <sup>*</sup>	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> <sup>*</sup>	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> <sup>*</sup>	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> <sup>*</sup>	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> <sup>*</sup>	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> <sup>*</sup>	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> <sup>*</sup>	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> <sup>*</sup>	a <sub>g</sub>	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> <sup>*</sup>
Arcipelago Toscano, Isole Egadi, Pantelleria, Sardegna, Lampedusa, Linosa, Ponza, Palmarola, Zannone	0,186	2,61	0,273	0,235	2,67	0,296	0,274	2,70	0,303	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313	0,393	2,82	0,322	0,500	2,88	0,340	0,603	2,98	0,372	0,747	3,09	0,401
Ventotene, Santo Stefano	0,239	2,61	0,245	0,303	2,61	0,272	0,347	2,61	0,298	0,389	2,66	0,326	0,430	2,69	0,366	0,481	2,71	0,401	0,600	2,92	0,476	0,707	3,07	0,517	0,852	3,27	0,564
Ustica, Tremiti	0,429	2,50	0,400	0,554	2,50	0,400	0,661	2,50	0,400	0,776	2,50	0,400	0,901	2,50	0,400	1,056	2,50	0,400	1,500	2,50	0,400	1,967	2,50	0,400	2,725	2,50	0,400
Alicudi, Filicudi,	0,350	2,70	0,400	0,558	2,70	0,400	0,807	2,70	0,400	1,020	2,70	0,400	1,214	2,70	0,400	1,460	2,70	0,400	2,471	2,70	0,400	3,212	2,70	0,400	4,077	2,70	0,400
Panarea, Stromboli, Lipari, Vulcano, Salina	0,618	2,45	0,287	0,817	2,48	0,290	0,983	2,51	0,294	1,166	2,52	0,290	1,354	2,56	0,290	1,580	2,56	0,292	2,200	2,58	0,306	2,823	2,65	0,316	3,746	2,76	0,324

PROGETTAZIONE ATI:



I parametri sismici di riferimento per la progettazione in esame sono:

- Vita nominale  $V_N = 50$  anni (10 anni per opere provvisionali)
- Classe d'uso IV ( $C_u = 2,00$ )
- Categoria di sottosuolo B
- Categoria topografica T1

Di seguito si riportano i parametri sismici con riferimento ad una vita nominale di 50 anni, per opere ordinarie e una vita nominale di 10 anni, per opere provvisionali.

**Tabella 8-6 Parametri sismici ( $V_N = 50$  anni,  $C_u = 2,0$ ).**

Stato Limite	$T_r$ (anni)	$a_g$ (g/10)	$F_0$	$T_c^*$
Operatività (SLO)	60	0,253	2,68	0,299
Danno (SLD)	101	0,314	2,73	0,307
Salvaguardia vita (SLV)	949	0,598	2,98	0,370
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0,697	3,05	0,391

**Tabella 8-7 Parametri sismici ( $V_N = 10$  anni,  $C_u = 2,0$ ).**

Stato Limite	$T_r$ (anni)	$a_g$ (g/10)	$F_0$	$T_c^*$
Operatività (SLO)	30	0,186	2,61	0,273
Danno (SLD)	35	0,198	2,63	0,279
Salvaguardia vita (SLV)	332	0,444	2,85	0,331
Prevenzione collasso (SLC)	682	0,543	2,92	0,353

Nelle tabelle l'accelerazione al sito  $a_g$  è espressa in g/10;  $F_0$  è adimensionale,  $T_c^*$  è espresso in secondi.

### 8.7. VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Ai sensi delle NTC 2018 – Cap. 7.11.3.4.2 la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

3. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
4. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
5. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
6. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

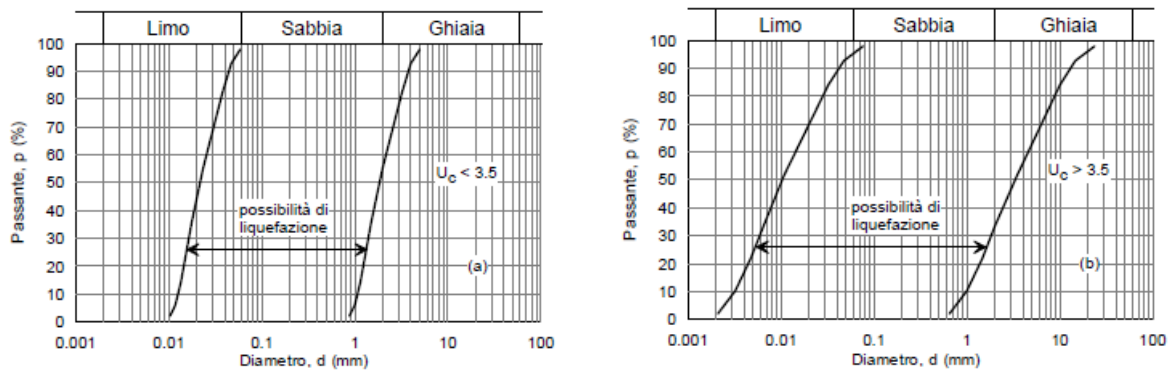


Figure 8-1 Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (Fig. 7.11.1 a-b DM 14/01/2018)

Nel caso in esame, si omette la verifica a liquefazione, in considerazione del valore dell'accelerazione massima attesa al piano campagna, che risulta pari a  $a_g = 0,060 \text{ g (SLV)}$ , inferiore al valore di 0,1 g indicato nel punto 1